

마이크로스텝 구동 방식에 따른 LPM의 특성 고찰

김명수, 김경호, 조운현  
 동아대학교 전기공학과

THE STUDY OF LPM CHARACTERISTICS FOR MICROSTEP DRIVE

Myoung-Su Kim, Kyoung-Ho Kim, Yun-Hyun Cho  
 Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University

**Abstract** - Linear Pulse Motor(LPM) has a thrust ripple which is causing vibration. To reduce the vibration, Microstep driving method is adopted. We manufactured Microstep drive, and drove LPM with that, and then investigated the characteristics of thrust force.

1. 서 론

리니어 펄스 모터(Linear Pulse Motor, LPM) 은 입 펄스신호에 따라 소정의 스텝크기만큼 직선운동을 하는 모터이다. 가동자의 이동속도는 입력펄스 주파수로 결정되며, 이동거리는 입력펄스수로 결정된다. 따라서 Ope Loop 제어가 가능하고, 변위 오차가 누적되지 않는 특징이 있다. 뿐만 아니라 기동, 정지, 역전의 응답성이 우수해서 신뢰성이 높다. 반면에 고속 운전 시 토크가 저하되고, 탈조하기 쉬우며, 저속 운전 시 진동과 공진이 발생하기 쉽다. 그리고 스텝 크기가 기계적으로 정해지기 때문에 정밀한 위치 제어가 어렵다. 그래서 제안된 것이 마이크로스텝 구동 방식이다[1],[4].

마이크로스텝 구동 방식은 모터의 각상에 흐르는 전류비를 변화시켜 가동자의 정지점이 변화되는 것을 이용하여 기본 스텝크기를 미소 크기로 분할하는 구동 방식이다. 그러므로 위치 정밀도를 향상시키고, 속도 리플을 감소시킬 수 있고, 공진 현상의 저감과 더불어 운전속도 및 토크의 증가 등의 성능향상을 이룰 수 있다[2],[5],[본 논문에서는 LPM의 진동과 소음을 줄이고, 위치 분해능을 높이기 위해서 마이크로스텝 구동 방식을 채용했다. 이를 위해서 전용 드라이브를 제작했고, LPM에 적용시켜 특성을 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 2상 4극 LPM의 구조

그림 1은 본 연구에서 사용된 LPM의 기본적인 구조를 나타내었다. 가동자에는 두 개의 마르네트가 들어가 있고 A상과 B상은 1/2치 피치를 가지고 있고, A-B상과 C-D상간은 1/4치 피치를 갖는다.

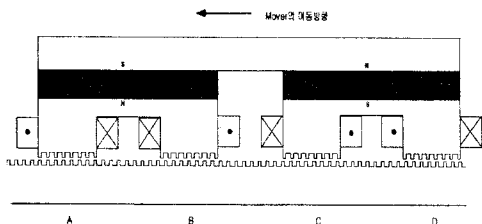


그림 1 2상 4극 LPM 구조

Fig. 1 Construction of LPM with 2 phases and 4 poles

2.2 LPM의 추력 해석

N턴을 감은 권선에 단위전류 i[A]를 흘리면 추력 F는 다음 식과 같다[1].

$$F = \frac{1}{2} (N \cdot i)^2 \cdot \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad \text{[N.m]} \quad (1)$$

여기서, P=퍼미언스[H],  $\theta$ =각변위[rad]이다.

마이크로 스텝 구동을 위해 A상과 B상에 식 (2), 식 (3)과 같이 90도 상 차를 갖는 정현적인 전류가 각 권선  $N_A, N_B$ 에 흐른다고 가정하면

$$i_A = -I_0 \sin \theta \quad (2)$$

$$i_B = -I_0 \cos \theta \quad (3)$$

여기서,  $I_0$ 는 최대 여자전류이다.

그리고 식 (2), 식 (3)을 각각 식 (1)에 대입하면 각 상의 출력을 구하면 식 (4)에서 식 (7)과 같다.

$$F_A = k_A I_0 \sin^2 \theta \quad (4)$$

$$F_B = k_B I_0 \cos^2 \theta \quad (5)$$

$$k_A = \frac{1}{2} N_A^2 I_0 \frac{\partial P_A}{\partial \theta} \quad (6)$$

$$k_B = \frac{1}{2} N_B^2 I_0 \frac{\partial P_B}{\partial \theta} \quad (7)$$

여기서,  $N_A$  = A상의 턴수,  $N_B$  = B상의 턴수

$P_A$  = A상의 퍼미언스,  $P_B$  = B상의 퍼미언스이다.

그러므로, 상 A와 상 B의 합성 추력은 식 (8)과 같다.

$$F_{total} = F_A + F_B = I_0 (k_A \sin^2 \theta + k_B \cos^2 \theta) \quad (8)$$

식 (8)에서 상 A와 상 B의 턴수가 같고 A 상과 B 상치가 같아서 그에 의한 퍼미언스 변화가 같다면 합성추력은 식 (9)와 같이 일정하게 된다.

$$F_{total} = k_A I_0 (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta) = k_0 I_0 \quad (9)$$

여기서,  $k_0 = k_A = k_B$ 이다.

## 2.2 마이크로스텝 구동의 원리

그림 2와 같이 LPM의 상 여자전류를 정현파로 추종시켜 기본 스텝의 중간 영역에서도 위치 제어가 가능하게 하는 방식이다.

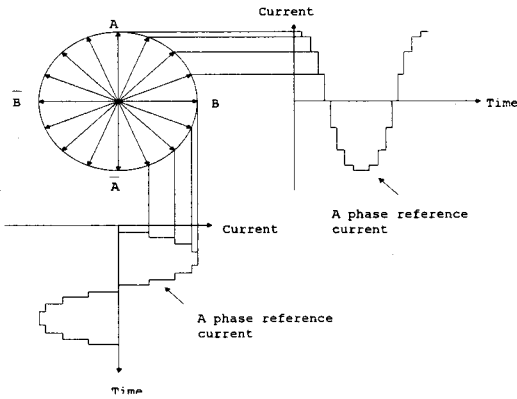


그림 2 모터의 상 기준전류와 토크벡터

Fig. 2 Reference phase current and torque vec

마이크로스텝을 구동하기 위해서는 전류의 변화가 급격한 구형파보다는 정현파가 되어야 한다. 정현적인 형태가 되지 않으면 토크의 평형이 깨어지기 때문이다. 그러므로 LPM의 각 상의 여자 전류 형태를 유지하고 각각의 여자시퀀스에 맞게 전류 파형을 만들어 준다면 기계적으로 정해진 스텝을 원하는 크기로 분해시켜 구동시킬 수 있다. 그러면 추력 리플이 없어지고 고정밀 위치제어가 가능할 뿐만 아니라 공진에 의한 탈조도 방지한다.

## 2.2 마이크로스텝의 구현

마이크로스텝 방식으로 LPM을 구동하기 위해 드라이브를 제작했다. 그림 3과 같이 마이크로스텝 드라이브는 주요 기능을 맡고 있는 마이크로프로세서, 기준전류와 상 전류를 비교하여 신호를 발생하는 증폭기, FET구동 IC, FET로 구성되어 있다. 상 전류의 검출은 Hall CT 이용해서 전압으로 검출하였다.

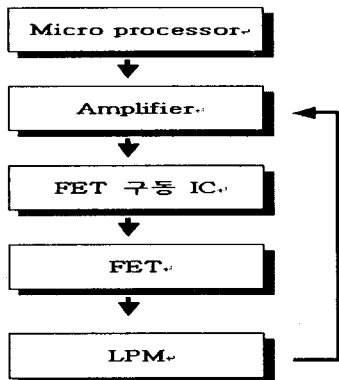
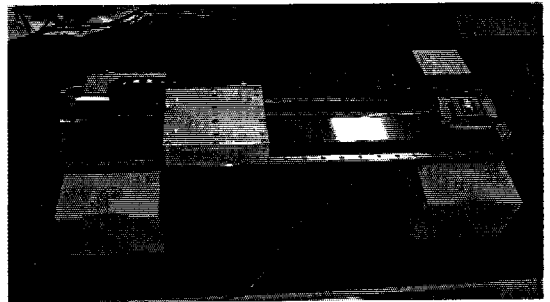


그림 3 마이크로스텝 드라이브 블록도

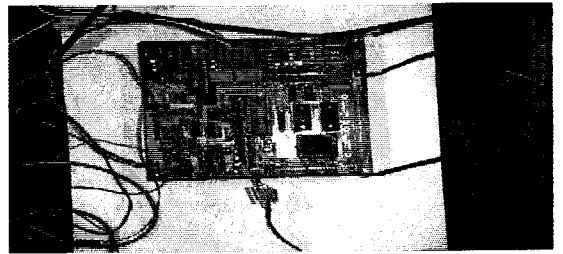
Fig. 3 System block diagram for microstep drive

그림 4는 마이크로스텝을 구현한 시스템 장치를 나타낸 것이다. 마이크로프로세서는 16bit 80C196KC를 사용했고 프로그램으로 기준전류 지령을 출력한다. 그러면 증폭기에서 기준전류 값과 상 전류 값을 비교하여

PWM전압신호를 내보내고 이것을 포토커플러를 거쳐 FET구동 IC인 IR2130으로 입력되어 MOSFET의 GATE신호로 사용된다. 여기서 사용된 MOSFET는 최대전류가 20A까지 가능한 IRFP460을 사용했다.



(a) Linear Pulse Motor



(b) Microstep Drive

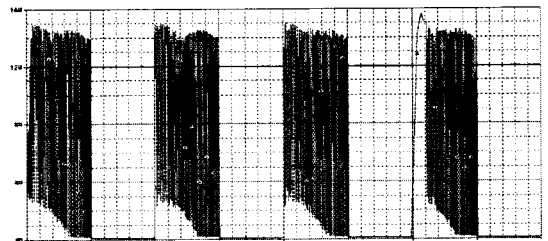
그림 4 마이크로스텝 시스템 장치

Fig. 4 Microstep system

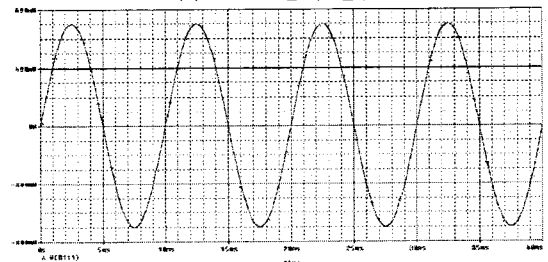
## 2.3 시뮬레이션 및 실험

그림 5는 PSPICE를 이용해서 시뮬레이션 한 것이다. 이 그림은 기준전류와 상 전류를 비교해서 발생하는 PWM 신호를 보여준다. 그림 5(a)는 마이크로프로세서에서 발생하는 PWM 파형이다.

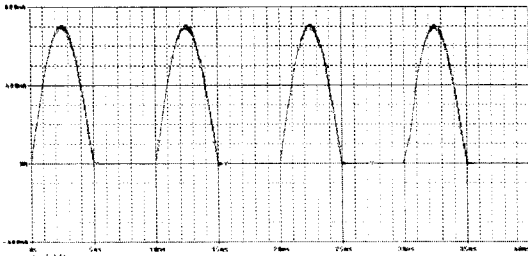
그림 5(b)는 기준전류를 전압으로 변환해서 사인파 형태로 출력한다. 그림 5(c)는 기준 전류를 추종하는 상 전류를 나타낸 그림이다.



(a) PWM 출력 전압



(b) 기준 전류



(c) 모터의 상 전류  
 그림 5 마이크로스텝 시뮬레이션 파형  
 Fig. 5 Microstep simulation waveform

그림 6은 50분주 마이크로스텝으로 LPM을 구동시키고 측정된 파형이다. 시뮬레이션 결과와 비교하면 상 전류가 기준 전류를 정확하게 추종함을 알 수 있다. 기준 전류는 50분주를 시켰다. 그림 7은 기준 전류를 16분주 했고 상 전류는 FET와 접지사이에 삽입한 저항에서 검출했다. 상 전류 검출에 저항을 이용할 경우는 마이크로 프로세서부분과 FET부분을 완전하게 절연시키기 어렵다. 왜냐하면 저항에서 검출하는 상 전류와 마이크로 프로세서에서 입력하는 기준 전류를 비교하기 위해서는 공통 접지를 해주어야 하기 때문이다. 그래서 그림 6은 상 전류 검출 저항대신에 Hall CT를 이용해 상 전류를 검출했고 마이크로 프로세서와 FET부분을 포토커플러로 완전하게 절연했다.

그림 8은 기준 전류를 상 전류가 어떻게 추종해 나가고 있는지를 나타내고 있다.

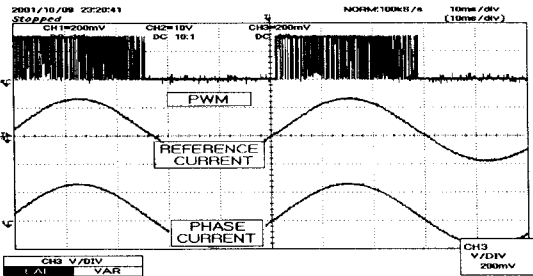


그림 6 마이크로스텝 구동 측정 파형(50분주)  
 Fig. 6 Microstep drive measurement waveform  
 (50 Resolutions)

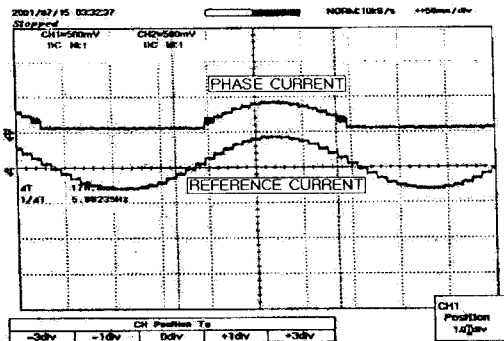


그림 7 상 전류 파형과 기준 전류 측정 파형(16분주)  
 Fig. 16 Phase current and reference current  
 (16 resolutions)

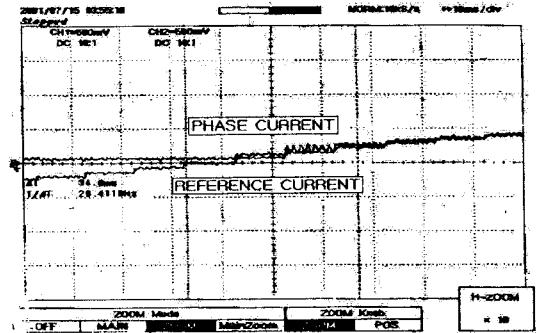


그림 8 기준 전류에 대한 상 전류의 추종 측정 파형  
 Fig. 8 Waveform which phase current follows  
 reference current

### 3. 결 론

LPM은 프린터, FDD, 스캐너, X-Y 테이블 등 고정밀 위치제어에 많이 이용되고 있다. 하지만 위치결정정밀도가 확보되는 반면, 치의 피치를 너무 작게 할 수 없으므로, 통상의 여자 방식(Full step, Half step)으로는 충분한 위치결정 분해능이 확보되지 않는다. 뿐만 아니라, 저속일 때 진동과 공진이 발생하게 된다. 이런 단점을 극복하기 위해 마이크로스텝 방식을 이용하여 LPM을 구동 시켰다.

마이크로 스텝을 이용해 LPM을 구동시키면 추력이 일정하게 유지된다. 그러므로 진동의 원인이 되는 추력 리플을 저감시켜 LPM의 진동을 감소시킬 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 김성현, 이은용, 이동주, 구태만, "2상 8극 리니어 펄스모터 정밀위치 제어를 위한 미세스텝 구동", 전기학회논문지, 48 B권12호, pp671-678, 1999
- [2] 안호균, 박승규, 남장락, 지대영, 송치훈, 김형문, "PLD를 이용 5상 스텝모터의 마이크로스텝 구동회로의 집적화와 성능 향상에 관한 연구", 전기학회학술대회, pp1143-1145, 2001
- [3] Takashi kenjo, "Stepping Motors and Their Microprocessor Control", Oxford University Press, 1984
- [4] 편집부, "리니어 모터 핵심 핸드북", 도서출판세화, 1988
- [5] M.P.Rahman and C. Grantham, "Design Approach Microstepping Step Motor Controllers", IEEE, 1990
- [6] 백수현, "소형 모터 설계 편람", 도서출판세화, 1988